

時効性アルミニウム鋳物合金の疲れ強さにおよぼす ピーニング加工の影響

小 貫 晃 義・熊 倉 重 典・鈴 木 国 雄*

工 学 部 精密工学科

1. ま え が き

金属部材の疲れ強さを向上させる方法は種々あるが、その多くは表面処理法によるものである。鉄鋼材料に行なわれている火炎焼入れ、高周波焼入れ、浸炭あるいは窒化法の主たる目的は表面層の耐摩耗性の増加にあるが、同時に疲れ強さの向上にも寄与していることはよく知られている。またピーニング加工の効果は、Zimmerli⁽¹⁾によって1940年に明らかにされて以来、多くの研究者が種々の角度から検討を加え^{(2)~(4)}、実用化されている。このピーニング加工は主として、スプリング材など鍛造された鋼材部品について行なわれており、疲れ強さの向上に役立っている。

ショット・ピーニングが疲れ強さの向上に寄与している要因としては、1) 表面層の加工硬化、2) 表面層の圧縮残留応力の2つが考えられるが、特に後者の影響が大きいという報告がなされている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

一方、非鉄合金材にピーニング加工を行なった場合にも上述の効果があると考えられ、研究も進められているが、その数も少なく鋼材の比ではない。ことに非鉄合金の鋳物製品は、その軽量なこと、鋳造性の良好なことなどの理由で広く用いられているが、近年は船用エンジンのピストンなどのように高温かつ高速で使用されるようになり、その疲れ強さの向上が望まれている。しかしこのような非鉄合金鋳物について行なわれたピーニング加工と疲れ強さに関する研究はほとんど見受けられない。

そこで本論文では、時効性アルミニウム鋳物合金(ローエックス相当材)について、溶体化処理後の時効処理、ショット・ピーニング加工および液体ホーニング加工と疲れ強さとの関係を実験的に究明した。その結果、この材料の疲れ強さが向上すること、およびその原因が明らかになった。

2. 供試材料および処理

試験片素材は、表1に示した化学成分のアルミニウム合金鋳物8種A(JIS, AC8A, ローエックス相当材)で、1度の溶解でV形ブロック状の金型に1個ずつ鋳込んだものを用いた。この鋳造素材を図1のような形状のシェンク形平面曲げ疲れ試験片に機械加工した。これらの試験片を3つのグループに分けて、それぞれ表2に示すような処理をほどこした。すなわち、すべての試験片に溶体化処理として、510°Cに7時間保持後油焼入れを

*長井工業高等学校

表 1 化 学 成 分 (%)

	Cu	Si	Mg	Fe	Mn	Ni	Al
AC8A	1.05	12.74	1.19	0.35	0.20	1.20	残 部

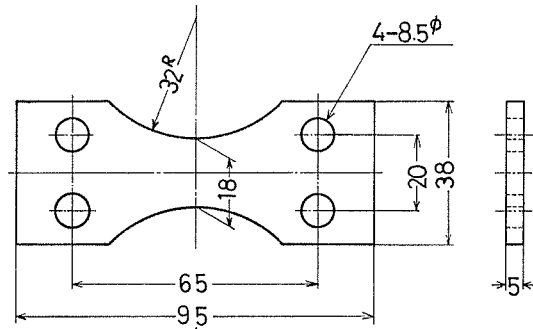


図 1 平面曲げ疲れ試験片

表 2 試験片の熱処理および加工

		時 効 材 A 材	ショット・ピーニ ング材 AS材	時効-ホーニング 材 AH材
熱 処 理 お よ び 加 工		溶体化処理 } ↓ 時効処理 } T_7	溶体化処理 } ↓ 時効処理 } T_7 ↓ ショット・ ピーニング	溶体化処理 } ↓ 時効処理 } T_7 ↓ 液体ホーニング
		—	ショット・ ピーニング	液体ホーニング
表 面 処 理	名 称	—	—	—
	と 粒	—	アルミナ	カーボランダム
	粒 度 (メッシュ)	—	14	200
	噴射圧力 (kg/cm ²)	—	6	6
	処 理 時 間 (sec)	—	40	60
備 考	ノズル-試料間距離 (mm)	—	50	50
		T_7 処理 ・溶体化処理 510°C7h保持後 油焼入れ ・時効処理 225°±5°C 8h 時効	T_7 処理 (同左) ・ピーニング加工 試験片を任意の 回転速度でゆっ くり回転する	T_7 処理 (同左) ・ホーニング加工 試験片をのせた テーブルの回転 速度 48 r.p.m.

ほどこし、次に時効処理として $225^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ に 8 時間保持（これは T_7 処理と呼ばれている。）した後、他の加工処理を行なった。

本報では、単に時効のみをほどこした材料（ T_7 処理材）を A 材、時効後ショット・ピーニング加工した材料を AS 材、時効後液体ホーニング加工した材料を AH 材とそれぞれ呼ぶことにする。A 材試験片は、これらの材料の疲れ試験結果などを比較検討するための基準とした。AS 材は、 T_7 処理後ショット・ピーニング加工を行なって表面に加工層を与えたもので、外観は梨地である。AH 材は、時効後液体ホーニングをほどこしてあるので、AS 材に比べて表面の平滑度が極めて良好である。

3. 実験方法

試験片を図 1 に示した形状に機械加工した後、表 2 の各種の処理をほどこし、容量 4kg-m の シェンク 形疲れ試験機によって両振り曲げ疲れ試験を行なった。繰返し速度は 3000cpm とした。また、表面加工層の影響を調べるために AS 材の表面から表裏それぞれ 0.05mm ずつを、冷水中で耐水ペーパーによって除去した試験片について実験を行なった。

各試料の表面かたさが疲れにともなって変化するので破断後の試料についてロックウェル B かたさを測定した。応力繰返しの影響を最も顕著に受けている破断部近傍でクラックの影響がないと思われる部分と、応力繰返しの影響をほとんど受けていないと思われるつかみ部近傍の部分について測定を行なった。

また、顕微鏡組織と疲れ強さの関係を考察するために、試験片の表面を研摩後 5%NaOH 水溶液で腐食して、光学顕微鏡で観察した。

4. 実験結果および考察

4.1 疲れ試験

本研究で行なった各処理材の両振り平面曲げ疲れ試験結果を図 2 に示した。 10^6 回時間強度において、ショット・ピーニングした AS 材の疲れ強さは、それを行なわない A 材の

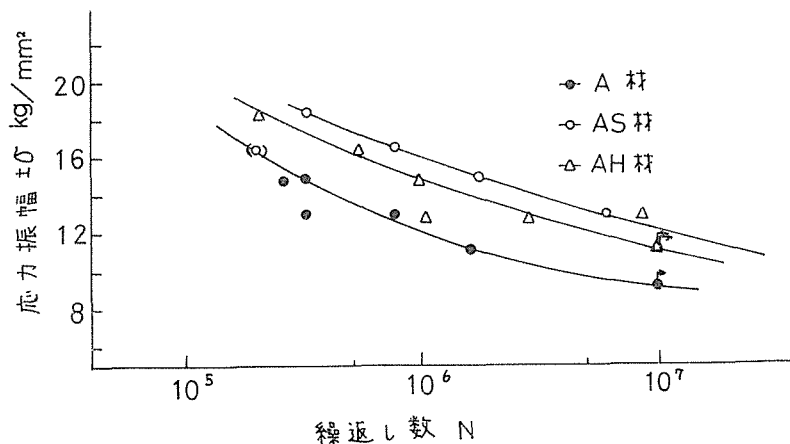


図 2 S-N 曲線

その約30%の増加、液体ホーニングしたAH材では約25%の増加が見られた。ローエックス材のような時効性アルミニウム鋳物合金に対しての、ショット・ピーニングあるいは液体ホーニングなどの表面処理がその疲れ強さにおよぼす影響がわかる。ショット・ピーニング加工の表面加工度は液体ホーニングのそれより大きく、ショット・ピーニングによって生ずる表面の圧縮残留応力は加工度に比例して大きくなるとは必ずしも言えないが、このピーニングによる疲れ強さの増大は顕著であることがわかる。

ショット・ピーニングした表面を0.05mm除去した材料の試験結果は図中に（ ）をつけて示したが、この材料の疲れ寿命がピーニングを行なわないA材の寿命まで減少していることから、このような時効性鋳造合金においても表面加工によって生ずる圧縮残留応力が疲れ寿命に大きく影響していることがわかる。また、ショット・ピーニングした試料の疲れ曲線が液体ホーニングしたものにしてその実験点のバラツキが小さいことは、ある程度強度のピーニング加工を加えることによって生ずる圧縮残留応力が安定したものになること、あるいは、加工による表面状態が疲れ破壊を起しにくいことを意味していると考えられる。ショット・ピーニングはこの種の時効性アルミニウム鋳物合金に対して、その疲れ強さ増大のために有効な方法であるといえる。

4.2 かたさ試験

溶体化処理した材料の時効硬化を調べるために、 T_r 処理の時効の各段階におけるビッカースかたさ H_v を測定した。その結果を図3に示した。時効によるかたさの変化は、こ

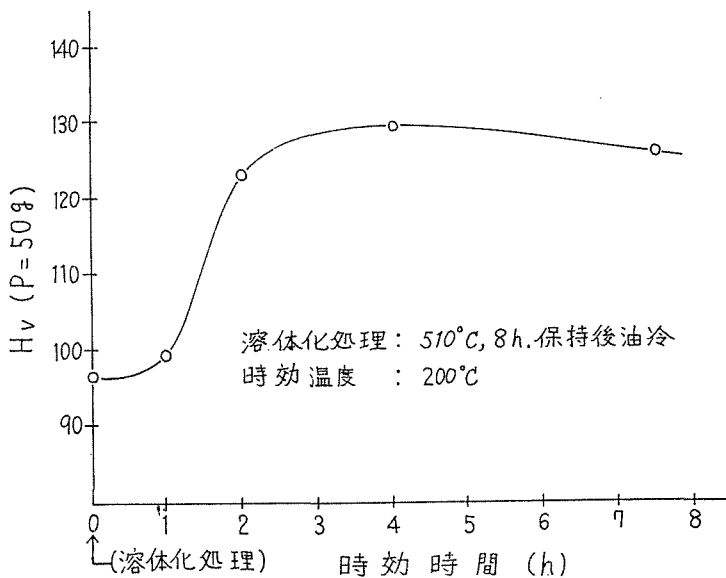


図3 時効硬化曲線

の材料が代表的な時効硬化材であることを示している。

疲れ破壊後のロックウェルBかたさの変化の例を図4に示した。時効硬化が繰返し応

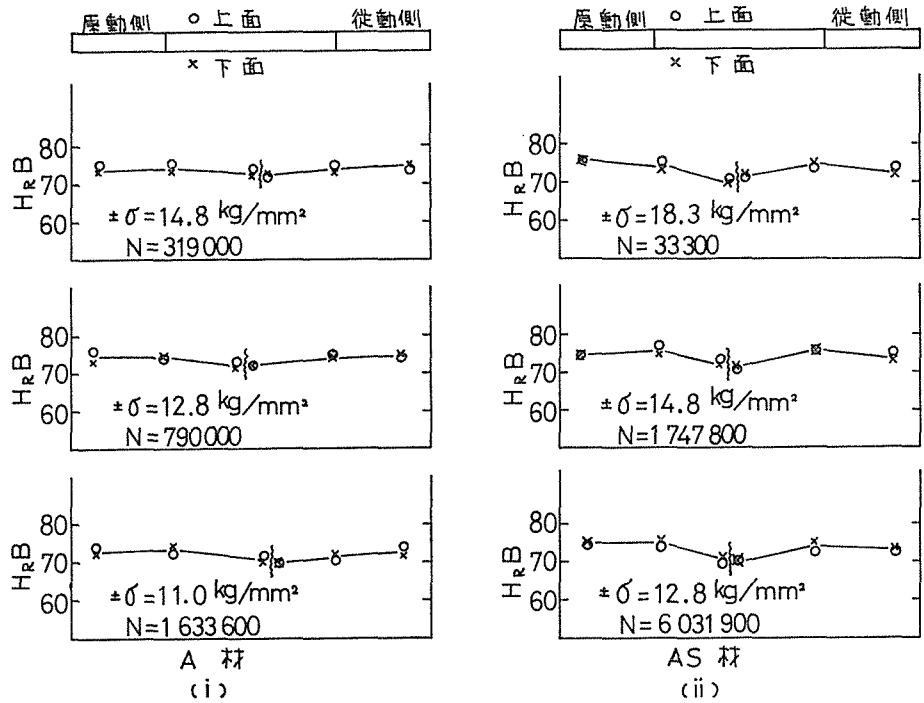


図4 かたさの変化

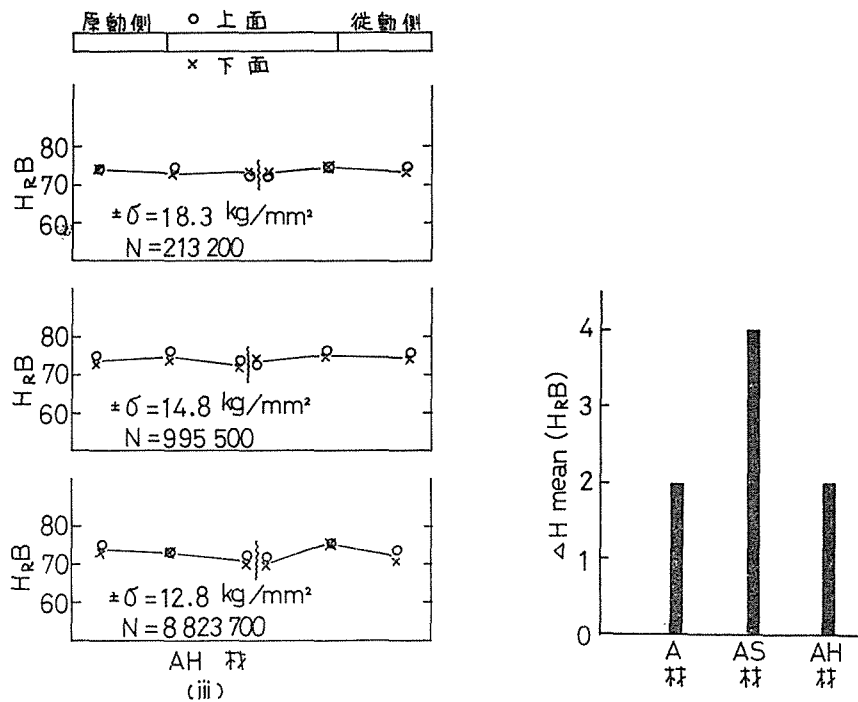


図5 かたさの差

力によって疲れ現象の進行した状態では減少するという報告⁽⁴⁾，およびピーニング加工による表面層の圧縮残留応力も応力繰返しにつれて減少するという報告⁽⁷⁾がなされている。しかし，両者の関連性に言及した報告は見られない。本実験におけるかたさの減少は，図4に見るように，応力振幅の大きさにはあまり依存していないように思われるので，各処理材について応力の影響のない部分と破断部近傍のかたさの差の平均 ΔH_{mean} を求め，図5に示した。この図から明らかなように，疲れ破断部近傍のかたさの減少は，AS材が他のグループの約2倍である。かたさの減少は疲れによる圧縮残留応力の減少と，時効の進行すなわち過時効による軟化の双方によって起るものと考えられる。A材には圧縮残留応力は加えられていないから，この材料のかたさの減少は疲れによる時効硬化の減少のみによるものと考えられる。AH材のかたさの減少がA材のそれとほとんど同じであることは，これに存在する加工層はごく表面だけに限られ，ロックウェルBかたさを増加させる程には大きくないということを意味するものと考えられる。

4.3 顕微鏡組織観察

溶体化処理後時効を行なったいわゆる T_7 処理材の顕微鏡組織を写真1に示した。微細な基地（マトリックス）組織の中に初晶のSiが分布しているのが観察される。基地の微小かたさは $H_v=126$ であったが，初晶Siは非常に硬く， $H_v=600$ 前後と求められた。溶体化処理のみで時効を行わない基地のかたさは $H_v=96.5$ であるから，8時間の時効処理によって生じた微細な析出相が硬化の主な原因となっていることがわかる。

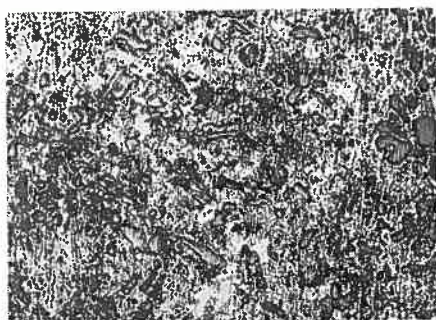


写真1 顕微鏡組織 T_7 処理材 (×450)

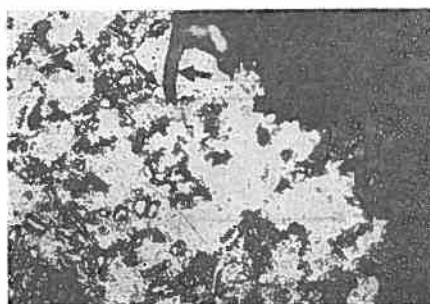


写真2 疲れ破断部近傍における
疲れき裂の停留 (×450)

写真2は破断部近傍の疲れ破壊き裂の一例である。疲れ過程に微小き裂は初晶Siに発生する。写真ではき裂はSi初晶中を貫通して，基地の部分で止まっているのが観察される。これらの観察からショット・ピーニングを受けた材料では，疲れ過程に初晶Siに発生した微小き裂は，周囲の時効硬化した基地と加工層の影響を受けて，進展しにくく，容易に巨視的き裂に成長しないために疲れ強さの増大が起るものと考えられる。

5. 結 論

時効性アルミニウム鋳物合金（JIS，AC8A，ローエックス相当材）を溶体化処理後時効処理し，ショット・ピーニングあるいは液体ホーニングを行なって，この材料の疲れ強

さにおよぼすピーニング加工の影響を調べた。

その結果次の結論を得た。

(1) 時効性鋳造合金の疲れ強さの向上に対して、 T_7 処理（溶体化処理後時効処理）後、ショット・ピーニングあるいは液体ホーニング加工を行なうことが極めて有効である。すなわち疲れ強さは、それをほどこさない場合より時効後のショット・ピーニング加工によって約30%以上、液体ホーニング加工によって約25%増大することがわかった。

(2) 疲れ強さの増大に対して、加工による表面の圧縮残留応力が大きな寄与をするものと考えられる。

(3) 疲れ破断部付近のかたさ測定によって、ピーニングによって生じた圧縮残留応力は疲れにともなって減少し、かつ時効硬化も過時効を起したかのように減少していることがわかった。

(4) 疲れ寿命の向上は、時効硬化と圧縮残留応力の影響を受けて起るものと思われる。

この研究を遂行するにあたり、試験片を提供して下さった富士ディーゼルK.K. 材料試験課に深く謝意を表します。また実験を援助して下さいました菊地新一技官、及川良明および東館宏吉両産業研究所依託研究補助員に心からお礼申し上げます。

なお、この研究の一部は、著者の一人鈴木が昭和46年5月から7月まで、山形県産業教育研究生として当学部精密工学科に在籍中に行なったものであり、昭和48年6月2日、日本機械学会・精機学会共催米沢地方講演会において発表した。

参 考 文 献

- (1) F. P. Zimmerli; Shot Blasting and its Effect on Fatigue Life, Treatment of Metals. (1940).
- (2) 中村宏, 広瀬正吉; 鉄道業務研究資料, **11**, 8 (1954).
- (3) 大野明, 高津幸弘, 宮川信男; 材料試験, **5**, 35 (1956).
- (4) 天野嘉次; 材料, **15**, 154 (1966), 50.
- (5) 岸本秀弘, 小倉興一, 栗津重男; 材料, **21**, 221 (1972), 104.
- (6) 岩本貢, 村山昭平, 小原正義; 材料, **21**, 231 (1972), 1124.
- (7) 平修二, 村上裕則; 材料試験, **10**, 95 (1961).

The Effect of the Shot-peening on the Fatigue Strength of an Age-Hardened Aluminium Casting Alloy

Akiyoshi ONUKI, Shigenori KUMAKURA
and Kunio SUZUKI*

Department of Precision Engineering, Faculty of Engineering

*Nagai Technical High School

An age-hardening type Aluminium casting alloy (JIS AC8A Lo-Ex) was aged after the solution treatment, and given a peening or a liquid honing treatment. Then the effect of a peening on the fatigue strengths of such treated specimens was examined. The results obtained were as follows:

(1) In order to improve the fatigue strength of this material, the peening and the liquid honing after T_7 treatment, i.e. solution treatment followed by ageing for 8 hours at $225 \pm 5^\circ\text{C}$ are very effective. The fatigue strength of the shot-peened specimen was increased by about 30% as compared with the not-treated one, and that of the liquid-honed specimen, by about 25%.

(2) The increase of the fatigue strength may be greatly affected by the residual stress in the surface layer of the specimen.

(3) From the decrease of the hardness near the fatigue fracture, it is found that the residual compressive stress caused by the peening is reduced as the specimen fatigues, and that the age-hardening is also reduced as if the over-ageing occurs.

(4) An increase in fatigue life can be caused by the age-hardening and the residual compressive stress.